

山形大学紀要(工学) 第13巻 第1号 昭和49年2月
Bull. of Yamagata Univ. Eng., Vol. 13 No.1 Feb. 1974

だ円形歯車の転造法

(側面の盛り上りを除去する場合)

近 久 満 雄

工業短期大学部 機械工学科

1. 緒 言

ピニオン形ダイローラによる歯車転造法においては、ダイローラ軸と歯車素材軸を平行とし、ダイローラと歯車素材の、かみ合い運動によって歯車を創成するが、その場合、歯形部分は歯車素材の盛り上りによって創成される。すなわち、歯高方向と歯すじ方向に盛り上る。歯高方向の盛り上りは、歯形を創成するのに有効であるが、歯すじ方向の盛り上りは歯車両側面に張り出し、その端部は鋭利な尖端をもつ複雑な形状をした、いわゆるバリのため、取扱上危険であり、また実用上からも不要である。これを取り除くため、一般には歯車転造後に旋盤などで切削除去しなければならない。

本研究においては、非円形歯車の転造装置において、二又のダイスホルダの一方の軸にダイローラを、他方の軸に溝付カラーを取り付け、その溝に歯車素材の外周部を挿入し、素材が回転すると同時に両側面のバリを切削除去する実験を行った。

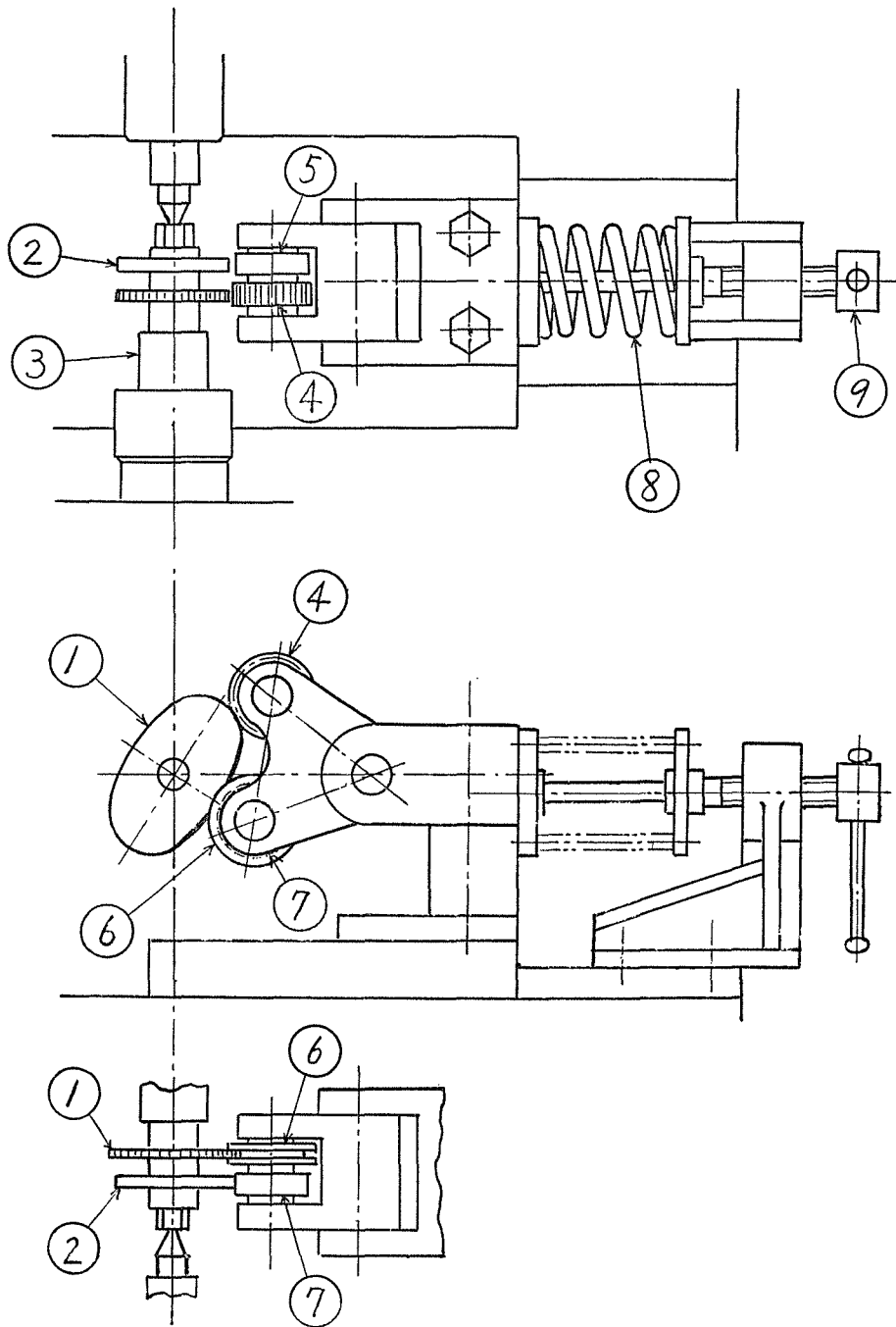
この実験においては、歯車転造中に両側面に生ずる盛り上りを除去しているため、歯高方向への盛り上り量に影響を与える。そこで、円筒形歯車についての基礎実験を行い、その場合の盛り上り係数を求め、従来の方法における盛り上り係数と比較し、それを基礎として、だ円形歯車の素材形状を求め、転造実験を行った。

2. 実験装置

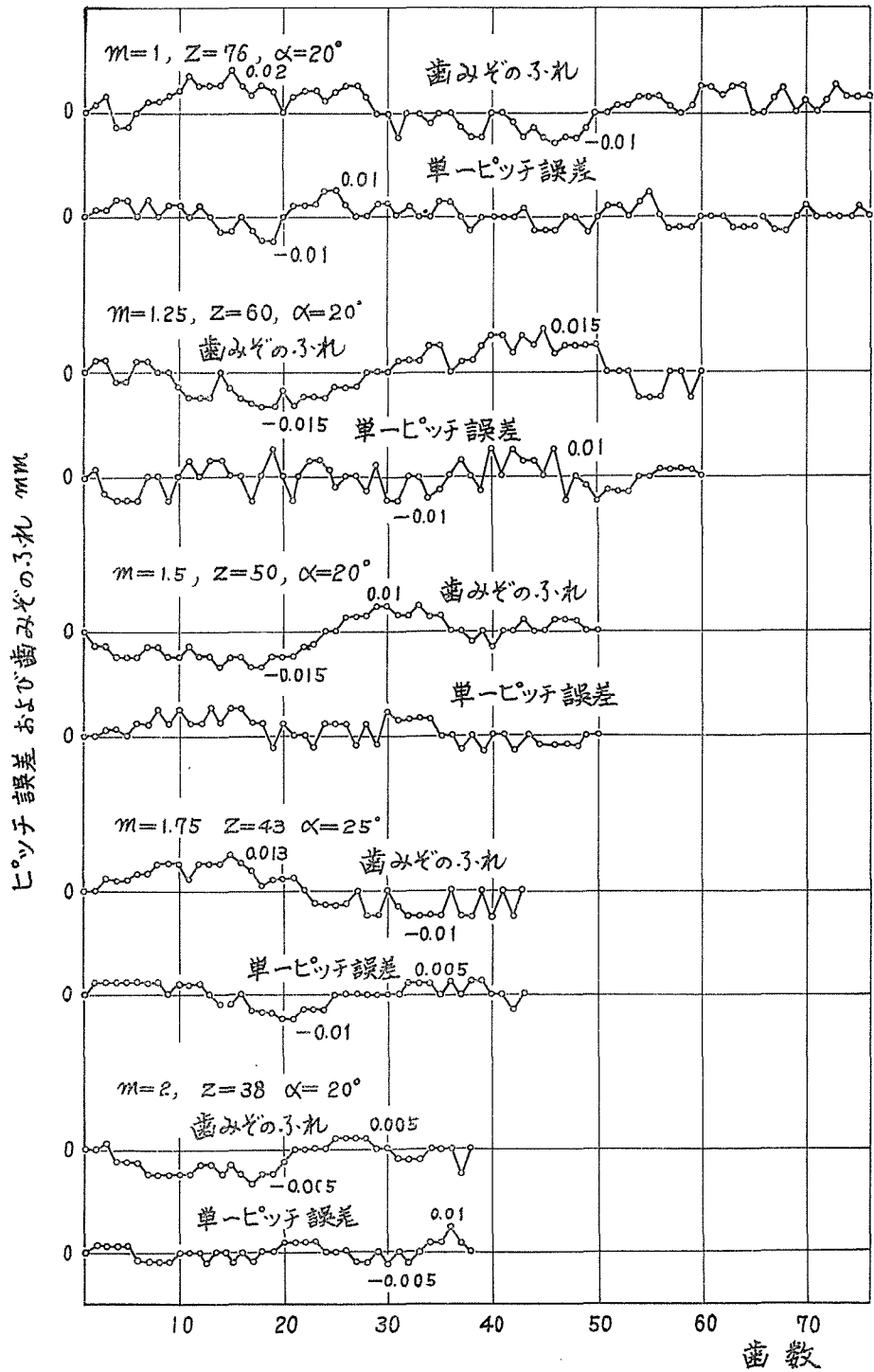
2・1 転造装置 第1図において、歯車素材1および型板2は軸3に固定され、強制回転させられる。二又のダイスホルダの一方の軸にはダイローラ4、カラー5が取付けられている。このカラーは素材へのダイス歯形が規定の深さまで押し込まれたとき、型板2と接し、それ以上ダイス歯形が押し込まれないよう制御する。

他方の軸には溝付カラー6とカラー7が取付けられ、転造の際その溝に歯車素材の外周部を挿入し、素材が回転し、歯車の歯形が創成し始めると素材の両側面に盛り上りが生ずるが、溝付カラーの溝部両側面と、その外周面の角部により、その盛り上り部分が切削除去される。なおこのときカラー7と型板2が接触し、溝付カラーの溝の底部が転造歯車の歯先に接触しないよう制御する。

転造圧力は、ばね8を介して、ねじ棒9を押し出すことによって加えられる。なお、この押し出し圧力は、コイルばねの変位を測定することによって求められる。



第1図 転 造 装 置



第2図 ダイローラの精度

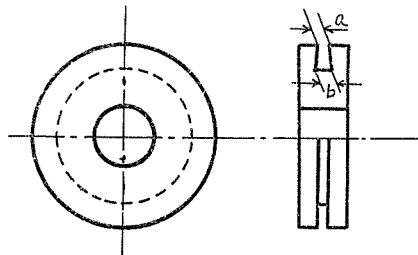
第1表 ダイローラの諸元

単位 mm

モジュール m	1	1.25	1.5	1.75	2
歯 数 Z	76	60	50	43	38
圧 力 角 α°	20	20	20	25	20
外 径 D	76.31	76.17	76.41	77.01	78.27

2・2 ダイローラ 材料には特殊工具鋼第2種を用い、ホブ盤にて歯切りを行い、焼入れして使用した。ダイローラはモジュール 1, 1.25, 1.5, 1.75, 2 の5種を使用した。硬度は HRC58 である。諸元を第1表に示し、精度を第2図に示す。測定に使用した歯車検査機は三井精機製ゼネボア型歯車検査機である。

2・3 溝付カラー 材料には特殊工具鋼第2種を用い、第3図に示すように溝部断面形状をあり溝形とし、溝部両側面とその外周面との角部をわずかに鋭角とし、歯車転造の際、両側面盛り上り部分の切削除去を容易にし、かつ転造中における転造歯車の両側面と溝付カラーの溝部両側面の摩擦抵抗を少くした。なお溝の深さは転造歯車の歯高の3倍程度とし、bの寸法はaのそれより僅かに大きく、角部の角度は約80度とした。硬度は



第3図 溝 付 カ ラ ー

HRC61 である。

2・4 型板 炭素工具鋼第6種を用い、型板の輪廓を立てフライス盤にて成形した後、手仕上げにて仕上げた。焼入れした硬度は HRC55 である。

3. 円筒形歯車の転造

従来の円筒形歯車の転造の場合、すなわち両側面の盛り上りを除去しないで転造を行う場合の盛り上り係数と、今回の両側面の盛り上りを除去しながら転造を行う場合の盛り上り係数を比較し、それを基礎として、だ円筒形歯車素材の形状を定めるため、円筒形歯車の転造実験を行った。

円筒形歯車の転造における盛り上り係数には、つぎの式から求められる⁽¹⁾。

$$K = \frac{1}{2} Z \frac{1}{\cos \beta} + 1 - \sqrt{\left(\frac{1}{2} z \frac{1}{\cos \beta} - 1 - c \right)^2 + \frac{z}{\pi} \frac{1}{\cos \beta} \left(s + \frac{m}{b} v \right)}$$

..... (1)

ただし

b : 歯車の中

c : 頂隙比

m : モジュール

s : $m=1$ の歯形面積

v : $1m$ 換算盛り上り量

z : 平歯車相当歯数

β : ねじれ角

式(1)から、両側面の盛り上りを除去せずに転造を行う場合の盛り上り係数 K_1 と、両側面の盛り上りを除去しながら転造を行う場合の盛り上り係数 K_2 を求め、両者を比較するため、つぎの実験を行った。

転造後両側面の盛り上り部分を旋盤で削り取る方法と、同じ素材を両側面の盛り上りを除去しながら転造を行う方法について、両側面の盛り上り部分の全体積を、それぞれ V_1 および V_2 とし、同じく 1 モジュール換算盛り上り量を、それぞれ v_1 および v_2 とし、それらの転造前後における歯車の重量を測定し、つぎの式から v_1 および v_2 を求めることができる。

$$v_1 = V_1 \cos \beta / m^3 z \quad \dots\dots (2)$$

ただし

i : 1 および 2

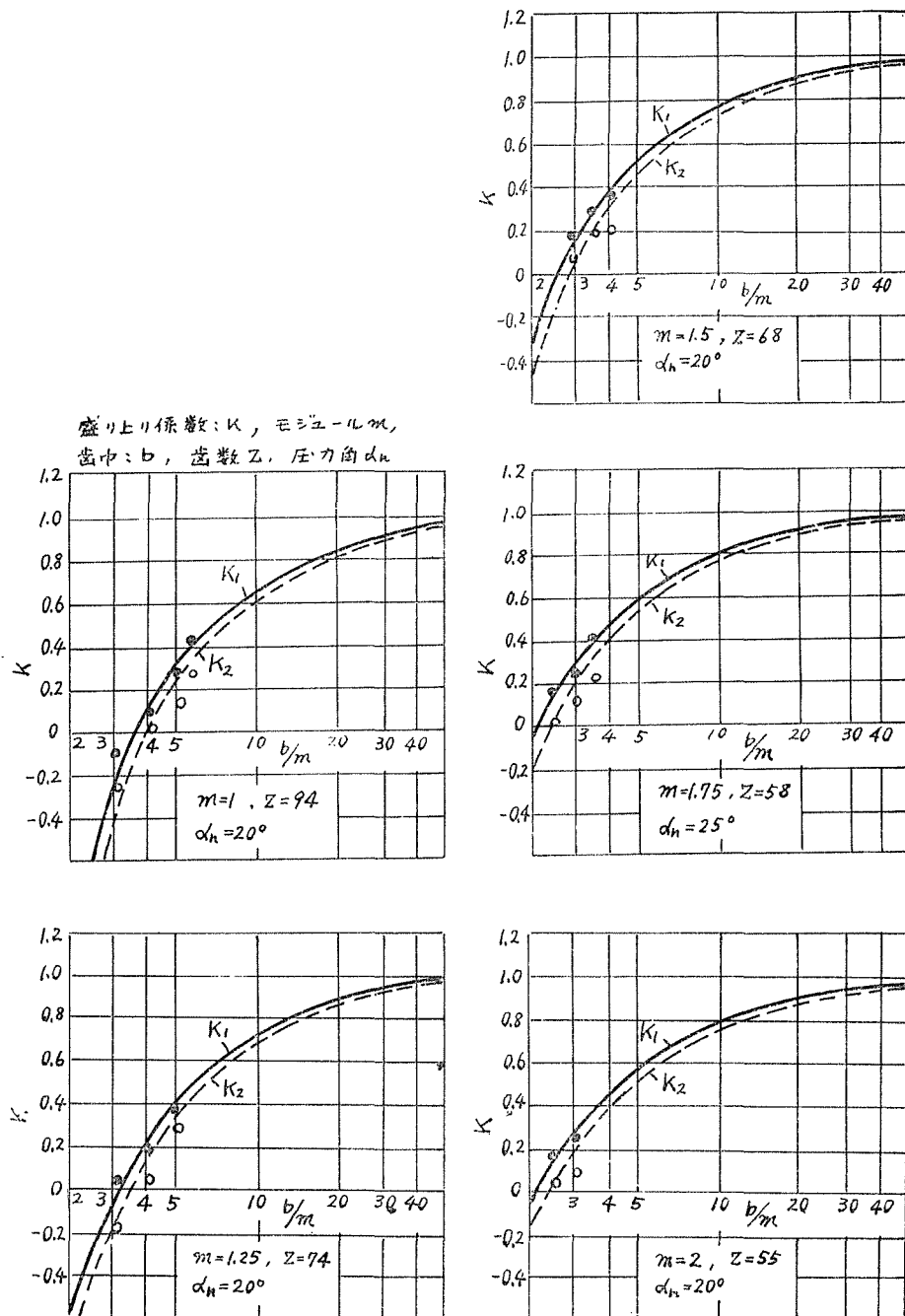
歯車素材に軟鋼を使って実験し、実測した結果を第2表に示す。この表における v_1 および v_2 の値は、名々の歯車について、それぞれ4個づつ転造実験を行い、その平均値で

第2表 側面盛り上り量
 $v \text{ mm}^3/1 \text{ 歯モジュール}$

モジュール m	歯数 Z	v_1	v_2
1	94	12.62	14.00
1.25	74	10.06	12.72
1.5	68	8.02	8.98
1.75	58	6.48	7.46
2	55	6.58	7.92

示した。なお、盛り上り係数 K_1 および K_2 と歯巾 b およびモジュール m との関係を求めるため、第2表に示す実験値 v_1 および v_2 を式(1)に代入し、 K_1 および K_2 を求めた。その結果を第4図に示す。この図における破線は両側面の盛り上りを除去しながら転造を行う場合で、○印はその実験値であり、実線は従来の方法による場合で●印はその実験値である。

この図によると、今回の方法による K_2 の値は K_1 に比べ小さく表われているが、これは第1表に示すように v_2 が v_1 に比べ20%程度大きいことによるものである。このように側面



第4図 盛り上り係数とモジュールおよび歯巾

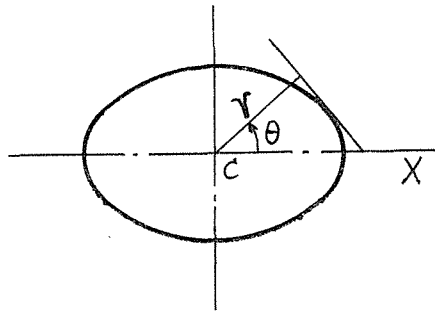
の盛り上り量 v_2 が v_1 より大きく表われることについては次のことが考えられる。

歯形の転造における盛り上りは歯高方向と歯すじ方向に同時に生じ、次第に歯形が創成されるが、両側面の盛り上りを除去しながら転造を行う場合には、転造中常に両側面の盛り上り部分がないため、側面の盛り上り量が従来のそれよりも大きくなる。しかし転造の初期から完了するまで、常に有効な部分の一定歯巾を転造することになり、従来の方法に比べ転造圧力が小さくなり、歯形の創成も容易になるものと考えられる。

両側面の盛り上りを除去しながら転造を行う場合の盛り上り係数は、従来の転造法に比べ側面の $1m$ 換算盛り上り量を 20% 程度大きくとり、式 (1) から求めるか、あるいは第 4 図に示す K と b/m の関係を示すグラフから求められる。

4. だ円形歯車の転造

4・1 だ円形歯車のピッチ曲線 実験の対象としただ円形歯車のピッチ曲線は第 5 図における切線極座標において近似的に



第5図 ピッチ曲線

$$r = r_0 + C_1 \cos 2\theta + C_2 \cos 4\theta \quad \dots\dots (3)$$

ただし r_0 , C_1 , C_2 は定数
なる方程式で表わされるものをとることとする。

今回、転造しただ円形歯車のピッチ曲線は式 (3) において、 $r_0 = 57\text{mm}$, $C_1 = 7.585\text{mm}$, $C_2 = -0.253\text{mm}$ と $r_0 = 51\text{mm}$, $C_1 = 7.525\text{mm}$, $C_2 = -0.279\text{mm}$ の二種とし、 $m=1$, $m=1.5$ および $m=2$ の三種の歯形について転造実験を行った。なお歯車素材は軟鋼 S35C である。

4・2 だ円形歯車素材の形状 前報においては、⁽²⁾だ円形歯車の素材の形はそのピッチ曲線に平行な曲線で表わされる形状とした。すなわち盛り上り係数を一定とし、ピッチ曲線と同様に切線極座標において

$$r = \{r_0 + m(1-K)\} + C_1 \cos 2\theta + C_2 \cos 4\theta \quad \dots\dots (4)$$

ただし K : 盛り上り係数

m : モジュール

なる方程式で表わされる曲線である。

しかし、だ円形歯車の場合には、そのピッチ曲線の各部における曲率半径が異なるから、その曲率半径に相当する円筒形歯車の歯形面積、を問題とする歯形面積に近似なものとして盛り上り係数を求め、それを加味してだ円形歯車素材形状を定めるのがより合理的である。

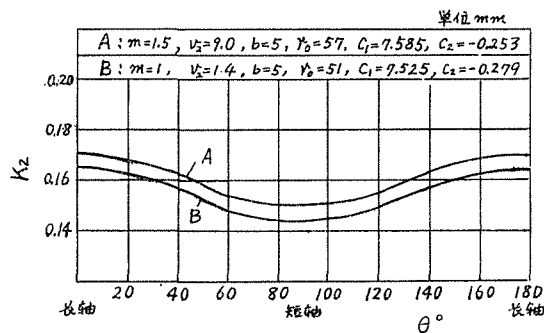
すなわち両側面の盛り上りを除去しながら転造を行う場合には、上述したように両側面の1m換算盛り上り量 v_2 を従来の転造法におけるそれより20%程度大きくとり、次式から K_2 を求める。

式(1)から

$$K_2 = \frac{\rho}{m} + 1 - \sqrt{\left(\frac{\rho}{m} \frac{1}{\cos \beta} - 1 - C\right)^2 + \frac{2}{\pi} \frac{\rho}{m} \left(s + \frac{m}{b} v_2\right)} \quad \cdots \cdots (5)$$

ただし $\rho = r + \frac{d^2 r}{d\theta^2} = \frac{1}{2} Zm$, ρ は曲率半径。

だ円形歯車のピッチ曲線の各点における曲率半径を半径とする円筒形歯車の盛り上り係数を式(5)から求め、 K_2 と θ の関係を示したのが第6図である。この図によると短軸附近における K_2 の値は長軸附近におけるそれよりも小さいことがわかる。



第6図 だ円形歯車曲線の各部における盛り上り係数

盛り上り量を加味しただ円形歯車素材の形を簡単に表わすため、だ円の長軸および短軸における盛り上り量を加味した長さをそれぞれ長半軸および短半軸としただ円形素材の形状は次のようにして求められる⁽³⁾。式(3)で表わされるだ円形歯車のピッチ曲線の長半軸を a 、短半軸を b とすれば

$$\left. \begin{aligned} a &= r_0 + c_1 + b_2 \\ b &= r_0 - c_1 + c_2 \end{aligned} \right\} \quad \cdots \cdots (6)$$

だ円形素材の形状は

$$r' = r_0 + c_1' \cos 2\theta + c_2' \cos 4\theta \quad \cdots \cdots (7)$$

なる切線極座標方程式で表わされるものとする。ただしこの場合の定数 r_0 、 c_1' および c_2' は次式から求められる。

素材の長半軸を a' 、短半軸を b' とすれば

$$\left. \begin{aligned} a' &= a + m(1 - K_a) \\ b' &= b + m(1 - K_b) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots (8)$$

ただし K_a および K_b はそれぞれ長軸および短軸における盛り上り係数

$$\left. \begin{aligned} r'_0 &= \frac{2a'}{\pi} E\left(\frac{\sqrt{a'_2 - b'_2}}{a'}, 90^\circ\right) \\ c'_1 &= \frac{a' - b'}{2} \\ c'_2 &= \frac{a' + b'}{2} - r'_0 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots (9)$$

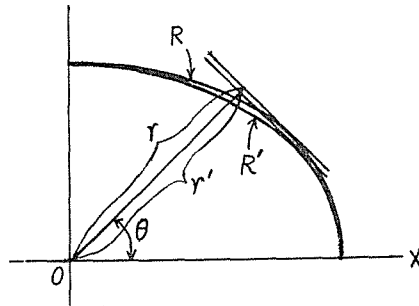
ただし $E\left(\frac{\sqrt{a'_2 - b'_2}}{a'}, 90^\circ\right)$ は第2種完全だ円積分

また、だ円形歯車のピッチ曲線の各部における盛り上り係数を加味した、だ円形素材の形状は式(4)から

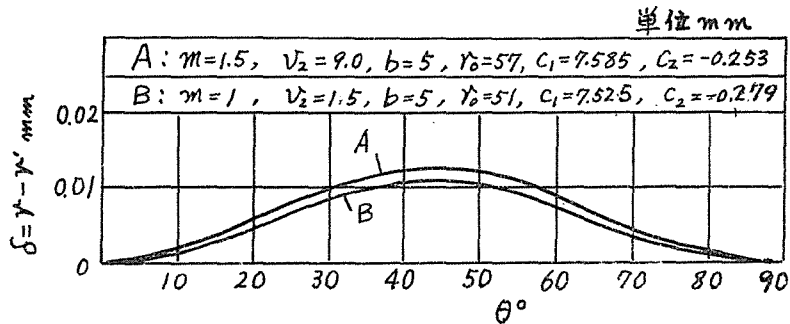
$$r = \{r_0 + m(1 - K_2)\} + c_1 \cos 2\theta + c_2 \cos 4\theta \quad \dots\dots (10)$$

ただし、 K_2 は式(5)から求めた値である。

式(7)から求めた素材形状 R と式(10)から求めた素材の形状 R' を比べ、両者のかたよ



第7図 盛り上り係数を加味しただ円形Rとだ円形R'



第8図 盛り上り量を加味しただ円形の偏差

り $\delta = r - r'$ を求め θ との関係を表わしたのが第7図および第8図である。この図における A はだ円形歯車のピッチ曲線が式(3)において、 $r_0 = 57\text{mm}$, $c_1 = 7.585\text{mm}$, $c_2 = -0.253\text{mm}$ の場合であり、 B は同様に $r_0 = 51\text{mm}$, $c_1 = 7.525\text{mm}$, $c_2 = -0.279\text{mm}$ の場合である。

この図によると、かたより δ は非常に小さく、 A および B も最大のかたよりで 0.012mm 程度ある。したがって、だ円形歯車における、だ円の長軸および短軸におけるそれぞれの盛り上り量を加味した長さをそれぞれ長半軸および短半軸とした、だ円形とみなしても実用上差支えないと考えられる。

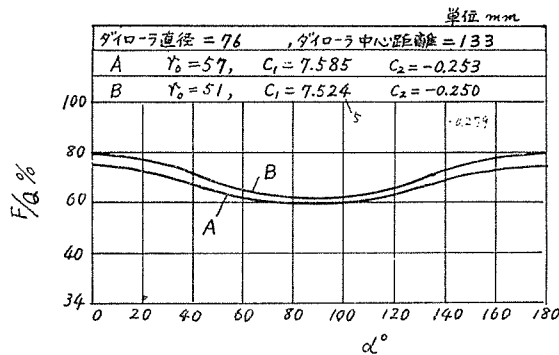
4・3 ダイローラの外径 すべり係数を L とすれば、ダイローラの外径 D は次式から求められる。

$$D = 2 \frac{Z_1}{Z_2} r_0 (1 - L) \quad \dots\dots (11)$$

ただし Z_1 : ダイローラの歯数

Z_2 : だ円形歯車の歯数

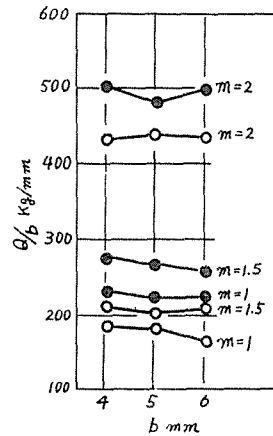
4・4 転造圧力 二又のダイスホルダによる転造圧力は、だ円ピッチ曲線の各部において変化する⁽¹⁾。今回、実験の対象とした2種のピッチ曲線をもつ、だ円形歯車について、押し出し圧力 Q を一定とし、素材の回転角を α 、転造圧力を F として、 F/Q と α の関係を求め第9図に示す。この図から転造圧力は押し出し圧力の60～80%の間で変化することがわかる。



第9図 転造圧力の変化

所要押し出し圧力 Q を、ばねの変位から求め、歯巾 b との比 Q/b とモジュール m との関係を第10図に示す。○印は両側面の盛り上りを除去しながら転造した場合の測定値であり、●印は従来の方法による測定値である。この図から両側面の盛り上りを除去しながら転造を行う場合の転造圧力は、両側面の盛り上りを除去しないで転造を行う場合に比べ、一般に小さいことがわかる。これは両側面の盛り上りを除去しながら転造を行う場合には、転造の初期から完了まで、常に有効な素材巾と同じ歯巾の歯形を転造しているため、これに対し両側面の盛り上り部分を残しながら転造を行う場には、不要とする不完全な両側面の盛り上り部分を含めた歯巾の部分で転造していることになり、そのため転造力が、わずかではあるが大きくなるものと考えられる。

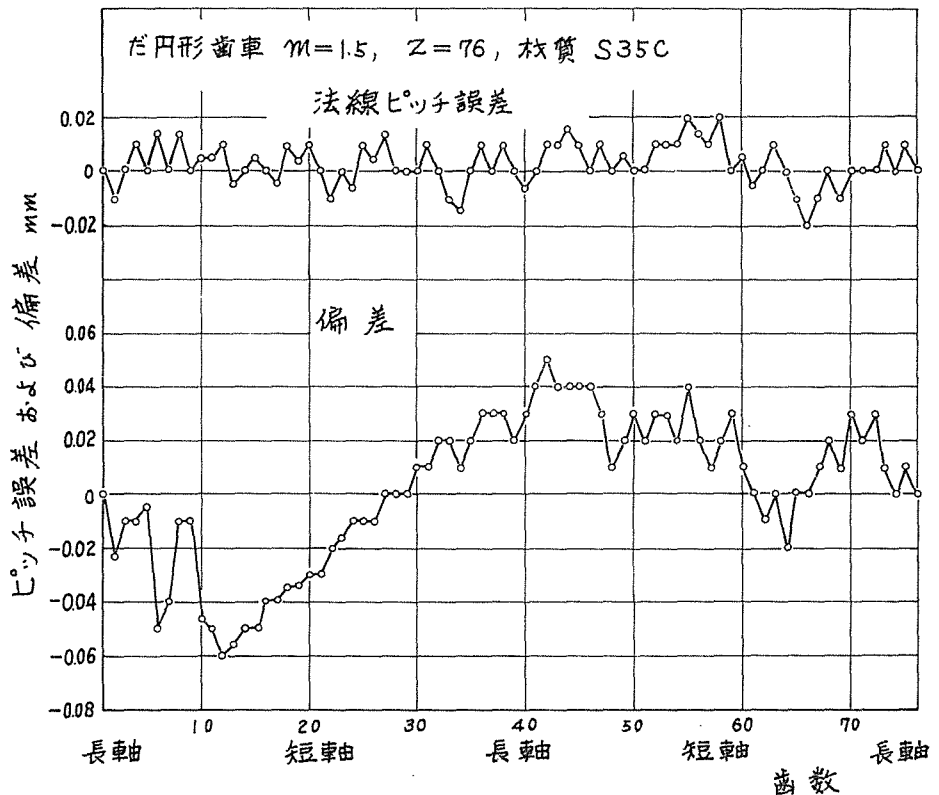
近：だ円形歯車の転造法



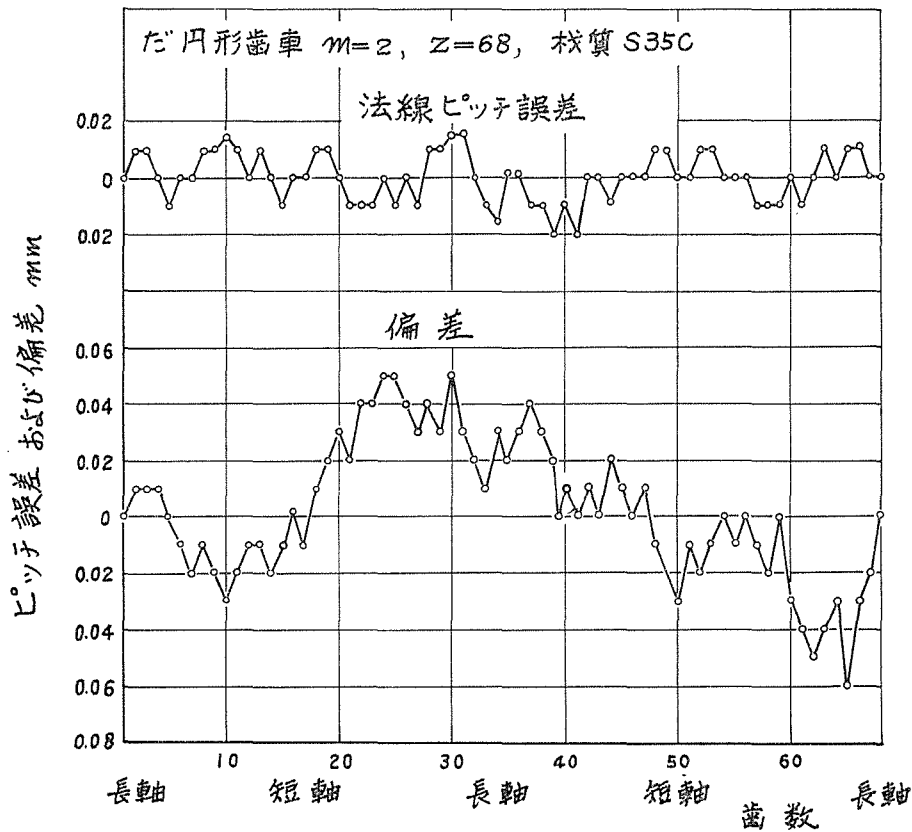
第10図 押し出し圧力とモジュールおよび歯巾との関係

4・5 転造しただ円形歯車 転造した、だ円形歯車は式(1)で表わされるピッチ曲線の定数を $r_0=57\text{mm}$, $c_1=7.585\text{mm}$, $c_2=-0.253\text{mm}$ と $r_0=51\text{mm}$, $c_1=7.525\text{mm}$, $c_2=-0.279\text{mm}$ の2種類とし、モジュール 1, 1.5, 2 の3種の歯形について転造を行った。歯車素材には S35C を使用した。

素材の形状は、だ円の長軸および短軸における盛り上り係数を式(5)から求め、それ



第11図 だ円形歯車の精度



第12図 だ円形歯車の精度

を加味して式（7）から素材形状を求め、立フライス盤にて切削成形した後、手仕上げにて仕上げた。

本方法による転造においては、側面の盛り上り部分は除去され、旋盤などによる二次加工は必要としない。

転造した、だ円形歯車の精度については型板からの偏差と法線ピッチ誤差を測定した。偏差の測定にはダイヤルゲージを用い、型板から歯先までの高さ、すなわち歯末のたけを測定し、その誤差を偏差とした。法線ピッチの測定には工具顕微鏡を用いた。今回、転造した、だ円形の歯車は上述した各種の歯形およびピッチ曲線について6～7個づつ転造実験を行い、その中で比較的よくできただ円形歯車の精度検査の結果を第11図および第12図に示した。

第13図は側面の盛り上り部分を除去しながら転造を行っただ円形歯車と、それを除去しないで転造した歯車すなわち、従来の方法による転造歯車である。

5. 結 論

- (a) 歯車転造法において、溝付カラーを転造装置に取付けることにより、転造と同時に転造歯車の両側面に生ずる盛り上りを切断除去することができる。
- (b) 両側面の盛り上りを除去しながら転造を行う場合の盛り上り係数は、従来の転造法におけるそれよりも側面1モジュール換算盛り上り量を20%程度大きくとり、計算から求めるか、または盛り上り係数と歯巾およびモジュールの関係を表わすグラフから求められる。
- (c) 本方法により転造を行な場合のだ円形歯車ピッチ曲線の各部における盛り上り量を加味した、だ円形歯車素材の形状は、その長径および短径としただ円形と近似していることがわかった。したがって転造を行う場合のだ円形素材の形状は簡単にその長径および短径における盛り上り量を加味した長さを、それぞれ長径および短径とした、だ円形として用いても実用上差支えないと考えられる。
- (d) 本方法による所要転造圧力は従来の転造法のそれに比べ若干小さい。

文 献

- (1) 成瀬ほか6名歯車の塑性加工，（昭38）13，養賢堂
- (2) 近 機械学会論文集，26—163（昭35—3）
- (3) 松山，近 機械学会論文集，21—106（30—6）

The rolling method of the ellipticall gears

(On removivg the side swells)

Kumao KON

In the rolling method of the gears, the swell of the gear tooth is divided into two side : the direction of the two, the side swell alonge the tooth is not only dangerous in handling, but useless in practice.

A die roller holder used in this experiment was formed like a fork with a die roller fitted freely at one hand and a collar with a dovetailed groove around its periphery at the other hand.

The teeth of gear made by the die roller get into the groove of the collar, and the side swells of teeth are scraped off by both edges of the groove.

This experiment on the rolling of the elliptic gears was made on the assumption that the coefficient of the swell of the tooth at any point of the pitch ellipse is similar to that of the cylindrical gear. But in this case, the radius of the pitch circle of the cylindrical gear is to be equal to the radius of curvature at that point of the pitch ellipse.